

551,220

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
14. Oktober 2004 (14.10.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/088252 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01F**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/003403
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
31. März 2004 (31.03.2004)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
103 14 916.3 1. April 2003 (01.04.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **ENDRESS + HAUSER FLOWTEC AG** [CH/CH];  
Kägenstrasse 7, CH-4153 Reinach (CH).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WIEST, Achim**  
[DE/DE]; Kirchstrasse 8/1, 79576 Weil am Rhein (DE).

**STRUNZ, Torsten** [DE/CH]; Hebelstrasse 126, CH-4056  
Basel (CH). **BERGER, Andreas** [CH/CH]; Parkstrasse  
53, CH-4106 Therwil (CH).

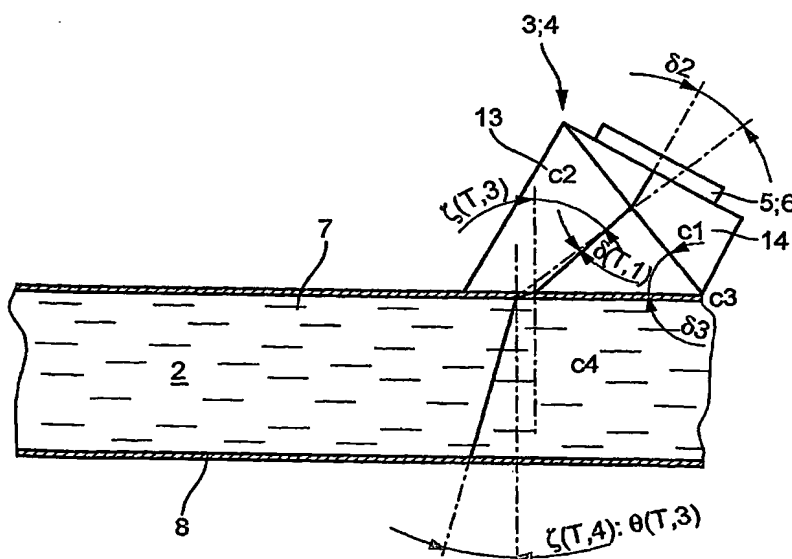
(74) **Anwalt: ANDRES, Angelika**; Endress + Hauser (DE)  
Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil  
am Rhein (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** DEVICE FOR DETERMINATION AND/OR MONITORING OF THE VOLUMETRIC AND/OR MASS FLOW OF A  
MEDIUM

(54) **Bezeichnung:** VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG UND/ODER ÜBERWACHUNG DES VOLUMEN- UND/ODER  
MASSENSTROMS EINES MEDIUMS



(57) **Abstract:** The invention relates to a clamp-on ultrasound throughflow measuring device (1), for determining the volumetric and/or mass flow of a medium (2) in a container (7). The aim of the invention is the production of a clamp-on ultrasound measuring device (1) with low temperature dependence. Said aim is achieved, whereby the coupling element (11, 12), by means of which the ultrasound measuring signal is injected into the container (7), or extracted from the container (7), comprises at least two partial elements (13, 14) which are embodied and/or arranged such that the given injection angle into the container (7) and the given extraction angle from the container (7) are approximately constant over an extended temperature range.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/088252 A2



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf ein Clamp-On Ultraschall-Durchflussmessgerät (1) zur Bestimmung des Volumen- und/oder Massenstroms eines Mediums (2) in einem Behältnis (7). Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Clamp-On Ultraschallmessgerät (1) mit geringer Temperaturabhängigkeit vorzuschlagen. Hierzu weist das Koppellement (11; 12), über das die Ultraschall-Messsignale in das Behältnis (7) eingekoppelt bzw. aus dem Behältnis (7) ausgekoppelt werden, zumindest zwei Teilelemente (13, 14) auf, die derart ausgestaltet und/oder angeordnet sind, dass der vorgegebene Einkoppelwinkel in das Behältnis (7) bzw. der vorgegebene Auskoppelwinkel aus dem Behältnis (7) in einem ausgedehnten Temperaturbereich näherungsweise konstant ist.

**Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumen-  
und/ oder Massenstroms eines Mediums**

5 Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumen- und/ oder Massenstroms eines Mediums in einem Behältnis, insbesondere in einem Rohr, mit zumindest einem Ultraschallwandler, der Ultraschall-Meßsignale aussendet und/oder empfängt, mit einem dem Ultraschallwandler zugeordneten Koppel-  
10 Ultraschall-Meßsignale unter einem vorgegebenen Einkoppel- bzw. Auskoppelwinkel in das Behältnis eingekoppelt bzw. aus dem Behältnis ausgekoppelt werden, und mit einer Regel-/Auswerteeinheit, die anhand der Meßsignale bzw. anhand von Meßdaten, die aus den Meßsignalen abgeleitet sind, den Volumen- und/oder den Massenstrom des in dem Meßrohr  
15 strömenden Mediums ermittelt.

Ultraschall-Durchflußmeßgeräte werden vielfach in der Prozeß- und Automatisierungstechnik eingesetzt. Sie erlauben es, den Volumen- und/oder Massenstrom eines Mediums in einer Rohrleitung berührungslos zu  
20 bestimmen.

Die bekannten Ultraschall-Durchflußmeßgeräte arbeiten entweder nach dem Doppler-Prinzip oder nach dem Laufzeitdifferenz-Prinzip. Beim Laufzeit-  
25 Differenz-Prinzip wird die unterschiedliche Laufzeit von Ultraschall-Meßsignalen in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung des Mediums ausgewertet. Hierzu werden die Ultraschall-Meßsignale von den Ultraschallwandlern wechselweise in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung des Mediums ausgesendet bzw. empfangen. Aus der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Meßsignale läßt sich die Fließgeschwindigkeit  
30 und damit bei bekanntem Durchmesser der Rohrleitung der Volumendurchfluß bzw. bei bekannter oder gemessener Dichte des Mediums der Massendurchfluß bestimmen.

Beim Doppler-Prinzip werden Ultraschall-Meßsignale mit einer vorgegebenen Frequenz in das strömende Medium eingekoppelt. Die in dem Medium reflektierten Ultraschall-Meßsignale werden ausgewertet. Anhand einer  
5 zwischen dem eingekoppelten und dem reflektierten Ultraschall-Meßsignal auftretenden Frequenzverschiebung läßt sich ebenfalls die Fließgeschwindigkeit des Mediums bzw. der Volumen und/oder Massenstrom bestimmen.

Der Einsatz von Durchflußmeßgeräten, die nach dem Doppler-Prinzip  
10 arbeiten, ist nur möglich, wenn in dem Medium Luftbläschen oder Verunreinigungen vorhanden sind, an denen die Ultraschall-Meßsignale reflektiert werden. Damit ist der Einsatz derartiger Ultraschall-Durchflußmeßgeräte im Vergleich zu den Ultraschall-Durchflußmeßgeräten, die nach dem Laufzeit-Differenz-Prinzip arbeiten, ziemlich eingeschränkt.

15 Hinsichtlich der Typen von Meßgeräten wird unterschieden zwischen Ultraschall-Durchflußmeßaufnehmern, die in die Rohrleitung eingesetzt werden, und Clamp-On Durchflußmeßgeräten, bei denen die Ultraschallwandler von außen an die Rohrleitung mittels eines Spannverschlusses  
20 angepreßt werden. Clamp-On Durchflußmeßgeräte sind beispielsweise in der EP 0 686 255 B1, der US-PS 4,484,478 oder der US-PS 4,598,593 beschrieben.

Bei beiden Typen von Ultraschall-Durchflußmeßgeräten werden die  
25 Ultraschall-Meßsignale unter einem vorgegebenen Winkel in die Rohrleitung bzw. in das Meßrohr, in der/ in dem sich das strömende Medium befindet, eingestrahlt und/oder empfangen. Um eine optimale Impedanzanpassung zu erreichen, werden die Ultraschall-Meßsignale über einen Vorlaufkörper bzw. einen Koppelkeil in die Rohrleitung eingekoppelt bzw. aus der Rohrleitung  
30 ausgekoppelt. Hauptbestandteil eines Ultraschallwandlers ist zumindest ein piezoelektrisches Element, welches die Ultraschall-Meßsignale erzeugt und/oder empfängt.

Die in einem piezoelektrischen Element erzeugten Ultraschall-Meßsignale werden über den Koppelkeil bzw. den Vorlaufkörper und – im Falle eine Clamp-On Durchflußmeßgeräts – über die Rohrwand in das flüssige Medium geleitet. Da die Schallgeschwindigkeiten in einer Flüssigkeit und in Kunststoff  
5 voneinander verschieden sind, werden die Ultraschallwellen beim Übergang von einem Medium in das andere gebrochen. Der Brechungswinkel selbst bestimmt sich nach dem Snellius Gesetz, d.h der Brechungswinkel beim Übergang von einem Medium in ein anderes Medium ist abhängig von dem  
10 Verhältnis der Schallgeschwindigkeiten  $c_m$ ,  $c_n$  der beiden Medien n, m.

Mathematisch läßt sich das Snellius' Gesetz bevorzugt gemäß der nachfolgend genannten und gekürzten Formel darstellen:

$$c_n / \sin \alpha_n = c_m / \sin \alpha_m = \text{const.} \quad (1)$$

Hierbei repräsentiert:

$c_n$  : die Schallgeschwindigkeit z.B. im Koppelkeil, beispielsweise aus Kunststoff gefertigt ist;

$c_m$  : die Schallgeschwindigkeit z. B. im Medium, bei dem es sich beispielsweise um Wasser handelt;

$\alpha_n$  : den Winkel zwischen dem Schallpfad und dem senkrechten Lot auf die Grenzfläche des Koppelkeils beim Durchstoßpunkt des Ultraschall-Meßsignals durch die Grenzfläche;

$\alpha_m$  : den Winkel zwischen dem Schallpfad und dem senkrechten Lot auf die Grenzfläche des Mediums beim Durchstoßpunkt des Ultraschall-Meßsignals durch die Grenzfläche.

Mit Koppelkeilen bzw. Vorlaufkörpern aus Kunststoff läßt sich i.a. eine gute Impedanzanpassung erzielen; allerdings zeigt die Schallgeschwindigkeit von

Kunststoff eine relativ starke Temperaturabhängigkeit. Typischerweise verändert sich die Schallgeschwindigkeit von Kunststoff von ca. 2500 m/s bei 25° C auf ca. 2200 m/s bei 130° C. Zusätzlich zu der durch die Temperatur hervorgerufenen Änderung der Laufzeit der Ultraschall-Meßsignale im Kunststoff des Koppelkeils, ändert sich auch die Ausbreitungsrichtung der Ultraschall-Meßsignale in dem strömenden Medium. Beide Änderungen wirken sich bei einem nach der Laufzeitdifferenz-Methode arbeitenden Ultraschall-Durchflußmeßgerät natürlich ungünstig auf die Meßgenauigkeit aus. Hinzu kommt, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit in gewissen Medien ebenfalls eine starke Temperaturabhängigkeit aufweist.

Um die Temperaturabhängigkeit der Koppelkeile in den Griff zu bekommen, ist es aus der WO 02/39069 A2 bekannt geworden, das Koppellement aus mehreren kreisbogenförmigen Segmenten auszubauen. Bevorzugt sind die Segmente aus Metall gefertigt. Die einzelnen Segmente sind getrennt voneinander angeordnet und verlaufen von einer Kontaktebene, die dem piezoelektrischen Element zugewandt ist, bis zu einer Grundplatte, die mit der Rohrwand in Verbindung steht. Die Länge der einzelnen Segmente ist dabei so bemessen, daß die Ultraschall-Meßsignale an der Grundplatte unter einem vorgegebenen Winkel abgestrahlt bzw. empfangen werden. Diese Ausgestaltung ist jedoch relativ aufwendig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Clamp-On Ultraschallmeßgerät vorzuschlagen, dessen Meßgenauigkeit relativ unempfindlich auf Temperaturänderungen des Mediums und/oder der Umgebung reagiert.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß das Koppellement zumindest zwei Teilelemente aufweist, die derart ausgestaltet und/oder angeordnet sind, daß der vorgegebene Einkoppelwinkel in das Behältnis bzw. der vorgegebene Auskoppelwinkel aus dem Behältnis in einem ausgedehnten Temperaturbereich näherungsweise unabhängig von der Temperatur des Koppelkeiles ist. Unter ausgedehntem Temperaturbereich ist im Zusammenhang mit der

erfindungsgemäßen Lösung zumindest der Temperaturbereich von ca. 0° C bis 130° C zu verstehen.

5 Eine vorteilhafte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung bezieht sich auf den Fall, daß die Schallgeschwindigkeit des Meßmediums selbst eine relativ starke Temperaturabhängigkeit aufweist und daß sich die Temperatur des Meßmediums wie die Temperatur des Koppelkeiles ändert. Hier ist – in Einklang mit dem Snellius' Gesetz - der Einkoppel- bzw. der Auskoppelwinkel der Ultraschall-Meßsignale von der Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit des Mediums mitbestimmt. Um den Einkoppel- bzw. den Auskoppelwinkel in das Medium bzw. aus dem Medium erfindungsgemäß in einem ausgedehnten Temperaturbereich näherungsweise konstant zu halten, sind die Materialien und die Dimensionen der zumindest zwei Teilelemente des Koppellements so gewählt, daß quasi keine Änderung des Einstrahl-/Ausstrahlwinkels auftritt, die das Meßergebnis innerhalb gewünschter Toleranzgrenzen negativ beeinflussen würde. Bei dieser Lösung handelt es sich also um eine mediums-spezifische Lösung.

20 Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht das Koppellement aus zumindest zwei Koppelkeilen, die sukzessive von den Ultraschall-Meßsignalen durchlaufen werden. Bevorzugt sind die Koppelkeile aus Kunststoffen mit unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten gefertigt.

25 Die Teilelemente bzw. die Koppelkeile bestehen gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung aus unterschiedlichen Materialien, wobei die Materialien so gewählt sind, daß durch Temperaturänderungen verursachte Änderungen der Schallgeschwindigkeit bzw. des Brechungsindex' des Materials von einem ersten Teilelement bzw. von einem ersten Koppelkeil durch Temperaturänderungen verursachte Änderungen der Schallgeschwindigkeit bzw. des Brechungsindex' von zumindest einem zweiten Teilelement bzw. einem zweiten Koppelkeil näherungsweise

kompensiert werden. Bevorzugt erfolgt die Kompensation in einem möglichst großen Temperaturbereich.

5        Gemäß einer alternativen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind mehrere Teilelemente bzw. mehrere miteinander verbundene Koppelkeile aus unterschiedlichen Materialien vorgesehen, wobei die Materialien so gewählt sind, daß sich durch Temperaturänderungen verursachte Änderungen der Schallgeschwindigkeit bzw. des Brechungsindex' des Mediums und durch  
10        Temperaturänderungen verursachte Änderungen der Schallgeschwindigkeiten bzw. der Brechungsindizes in den zumindest zwei Teilelementen bzw. Koppelkeilen näherungsweise gegenseitig kompensieren.

15        Mit dieser Ausgestaltung läßt sich der Einfluß von Temperaturschwankungen des Mediums auf den Einkoppel- bzw. den Auskoppelwinkel unmittelbar eliminieren bzw. in den Auswirkungen so gering halten, daß sich die Meßgenauigkeit nur unwesentlich verschlechtert.

20        Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, daß die Weglängen, die die Ultraschall-Meßsignale in den Teilelementen der Koppelkeile bzw. der Vorlaufkörper zurücklegen, so gewählt sind, daß die Summe der entsprechenden Laufzeiten, die die Ultraschall-Meßsignale für das Durchlaufen der Teilelemente benötigen, über einen vorgegebenen Temperaturbereich zumindest näherungsweise konstant ist. . Erreicht wird dies bevorzugt durch die entsprechend gewählte  
25        Dimensionierung der Teilelemente. Durch diese Ausgestaltung wird gewährleistet, daß nahezu unabhängig von Temperaturänderungen von jedem Ultraschall-wandler stets die maximale Signalamplitude eines Ultraschall-Meßsignals empfangen wird. Mehr oder weniger aufwendige Nachjustierungen der Ultraschallwandler am Rohr aufgrund von  
30        Temperaturänderungen in den Sensoren sind daher nicht erforderlich.



Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert.  
Es zeigt:

5 Fig. 1: eine schematische Darstellung eines Clamp-On Ultraschall-Durchflußmeßgeräts in Zwei-Traversen-Anordnung 2;

Fig. 2: einen Längsschnitt durch eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers; und

10 Fig. 3: eine graphische Darstellung des Einkoppel-/Auskoppelwinkels in Abhängigkeit von der Temperatur mit und ohne Kompensation.

15 In Fig. 1 ist schematisch ein Clamp-On Durchflußmeßgerät 1 in der Zwei-Traversen-Anordnung 10 dargestellt. Das Durchflußmeßgerät 1 ermittelt den Volumendurchfluß und/oder den Massendurchfluß des Mediums 10 in dem Rohr 7 nach der bekannten Laufzeitdifferenz-Methode.

20 Wesentliche Komponenten des Clamp-On Ultraschall-Durchflußmeßgeräts 1 sind die beiden Ultraschallwandler 3, 4 und die Regel-/Auswerteeinheit 9. Die beiden Ultraschallwandler 3, 4 sind mittels einer in der Fig. 1 nicht gesondert dargestellten Befestigungsvorrichtung an dem Rohr 7 angebracht. Entsprechende Befestigungsvorrichtungen sind aus dem Stand der Technik  
25 hinlänglich bekannt und werden auch von der Anmelderin angeboten und vertrieben. Das Rohr 7 mit einem vorgegebenen Innendurchmesser  $d_i$  wird von dem Medium 2 in Strömungsrichtung S durchströmt.

Ein Ultraschallwandler 3; 4 umfaßt als wesentliche Bestandteile zumindest ein piezoelektrisches Element 5; 6, das die Ultraschall-Meßsignale erzeugt  
30 und/oder empfängt, und einen Koppelkeil bzw. einen Vorlaufkörper 11; 12. Die Ultraschall-Meßsignale werden über die Koppelkeile 11, 12 in das vom Medium 10 durchströmte Rohr 7 eingekoppelt bzw. aus dem Rohr 7 ausge-

koppelt. Die Koppelkeile 11; 12 legen die Einstrahl- bzw. Ausstrahlrichtung der Ultraschall-Meßsignale aus dem Rohr bzw. aus dem Medium fest; darüber dienen sie zur Optimierung der Impedanzanpassung der Ultraschall-Meßsignale beim Übergang in das Rohr 7 bzw. aus dem Rohr 7.

5

Die beiden Ultraschallwandler 3, 4 sind in einem Abstand L voneinander positioniert, wobei der Abstand L so gewählt ist, daß ein möglichst hoher Energieanteile der von einem Ultraschallwandler 3; 4 ausgesendeten Ultraschall-Meßsignale in dem jeweils anderen Ultraschallwandler 4; 3 empfangen wird. Die optimale Positionierung ist abhängig von einer Vielzahl unterschiedlicher System- und/oder Prozeßgrößen. Bei diesen System- und Prozeßgrößen handelt es sich beispielsweise um den Innendurchmesser  $d_i$  des Rohres 7, um die Dicke der Rohrwand 8, um die Schallgeschwindigkeit  $c_3$  des Materials, aus dem das Rohr 7 gefertigt ist, oder um die Schallgeschwindigkeit  $c_4$  des Mediums 10. Hinzu kommt, daß die Schallgeschwindigkeiten in den unterschiedlichen Materialien wie Koppelkeil, Rohrwand und Medium eine mehr oder minder starke Temperaturabhängigkeit aufweisen.

10

15

20

25

Im gezeigten Fall ist der Abstand L der beiden Ultraschallwandler 3, 4 so bemessen, daß sich die Ultraschall-Meßsignale, die entsprechend der Laufzeitdifferenz-Methode abwechselnd von den beiden Ultraschallwandlern 3, 4 ausgesendet und empfangen werden, über den Schallpfad SP in dem vom Medium 10 durchströmten Rohr 7 ausbreiten. Der Schallpfad SP weist zwei Traversen, also zwei Querungen des Rohres 7 auf. Die Traversen können diametral oder kardial verlaufen.

30

Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers 3; 4 im Schnitt. Das Koppellement 11; 12 besteht erfindungsgemäß aus zumindest zwei Teilelementen 13, 14, die sukzessive von den Ultraschall-Meßsignalen, die von dem piezoelektrischen Element 5; 6 gesendet bzw. empfangen werden, durchlaufen werden.

Betrachten wir zuerst den Fall, daß die Ultraschall-Meßsignale lediglich über das Teilelement 13 in das Rohr 7 eingekoppelt bzw. aus dem Rohr 7 ausgekoppelt werden. Der Einkoppel-/Auskoppelwinkel ist im wesentlichen durch die Geometrie des Teilelements 13 bestimmt, d.h. die Geometrie des Teilelements 13 ist so gewählt, daß möglichst viel Energie die Grenzfläche zwischen dem Teilelement 12 und dem vom Medium 2 durchströmten Rohr passiert. Die Einkopplung bzw. Auskopplung eines hohen Energieanteils des Ultraschall-Meßsignals ist für eine gute Meßgenauigkeit von ausschlaggebender Wichtigkeit. Um die verlässlichen Meßergebnisse über einen beliebig langen Zeitraum zu erzielen, ist es außerdem wichtig, daß ein festgelegter optimierter Einkoppel-/Auskoppelwinkel nachfolgend auch konstant bleibt. Wie gesagt, führt jede Abweichung von dem vorgegebenen Wert zu einer Verschlechterung der Meßgenauigkeit. Problematisch ist eine permanente Konstanthaltung des Einstrahl-/Ausfallwinkels insbesondere deshalb, weil sich die Schallgeschwindigkeiten in den unterschiedlichen Materialien mehr oder weniger ausgeprägt in Abhängigkeit von der Temperatur ändern.

An dieser Stelle setzt die erfindungsgemäße Lösung ein: Durch Hinzufügen eines zweiten Teilelements 14, dessen Schallgeschwindigkeit von der Schallgeschwindigkeit des ersten Teilelements 13 differiert, läßt sich die Temperaturabhängigkeit des Koppellements 11; 12 bzw. des Vorlaufkörpers zumindest näherungsweise - und im Idealfall gänzlich - kompensieren. Selbstverständlich kann das erfindungsgemäße Koppellement 11; 12 auch aus mehr als zwei Teilelementen 13, 14 aufgebaut sein. Diese können so ausgeführt sein, daß der temperaturabhängige Brechungswinkel eines einzelnen Teilelements 13; 14 entgegengesetzt zu der Summe der temperaturabhängigen Brechungswinkel aller verbleibenden Teilelemente des Koppellements 11; 12 ist.

Vom Prinzip her gleich gelagert ist der Fall, daß zusätzlich zur Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeiten des Koppellements 11, 12 auch die

Schallgeschwindigkeit des Mediums 2 eine starke Temperaturabhängigkeit aufweist. Beispielfhaft sei an dieser Stelle Wasser als Medium 2 genannt. Bei einer derartigen Anwendung ist das aus zumindest zwei Teilelementen 13, 14 bestehende Koppellement 11; 12 so auszugestalten, daß es den Einfluß von Temperaturänderungen des Wassers auf den Einkoppel- bzw. Auskoppelwinkel der Ultraschall-Meßsignale über einen entsprechend großen Temperaturbereich zumindest näherungsweise kompensiert.

Um die passenden Winkel in den Teilelementen 13, 14 des Koppellements 11; 12 zu ermitteln, kann der Schallpfad SP für einen Temperaturbereich oder für einzelne Referenztemperaturen (im dargestellten Fall: 25°C) ausgerechnet und der Einstrahl-/Ausfallwinkel im zu messenden Medium, z.B. in Wasser, auf einem möglichst konstanten Wert gehalten werden. Weiterhin ist auch die Eintrittsposition in das zu messende Medium 2 bzw. die Austrittsposition aus dem zu messenden Medium von den Einstrahl-/Ausfallwinkeln in den Teilelementen 13, 14 abhängig. Um den Temperatureinfluß in den Ultraschallwandlern 3, 4 möglichst klein zu halten, werden die Teilelemente 13, 14 derart dimensioniert, daß die Summe der Laufzeiten der Ultraschall-Meßsignale durch die Teilelemente 13, 14 der Ultraschallwandler 3, 4 über einen weiten Temperaturbereich konstant ist.

Mathematisch läßt sich die Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit  $c$  eines Mediums  $n$  von der Temperatur in erster Näherung gemäß der nachfolgenden Gleichung (1) darstellen:

$$c_{T,n} = c_{25^{\circ}\text{C}} + \Delta c \cdot T \quad (2)$$

Als Bezugswert für die Temperaturänderung der Schallgeschwindigkeit wird üblicherweise die Schallgeschwindigkeit des Mediums  $n$  bei 25°C genommen.

$\Delta c$  kennzeichnet in der Formel die Änderung der Schallgeschwindigkeit  $c$  in Abhängigkeit von der Temperatur  $T$ .

Unter sukzessiver Anwendung des Snellius' Gesetzes läßt sich der Einkoppel-/Auskoppelwinkel  $\zeta$  in das im Rohr strömende Mediums (  $n = 4$ ) mittels der nachfolgenden Formel berechnen:

5

$$\zeta_{T,4} = a \sin \left( \frac{c_{T,4}}{c_{T,2}} \sin \left( \delta_3 - a \sin \left( \frac{c_{T,2}}{c_{T,1}} \sin \delta_2 \right) \right) \right) \quad (3)$$

Hierbei kennzeichnet T die Temperatur;

$c(T,n)$  charakterisiert die Schallgeschwindigkeit in den unterschiedlichen  
10 Materialien, wobei die Zahlen  $n = 1 \dots 4$  folgendes kennzeichnen:

1: den Kompensationskeil bzw. das zweite Teilelement 14;

2: den Koppelkeil bzw. das erste Teilelement 13;

3: die Rohrwand 8;

4: das in dem Rohr 7 strömende Medium 2.

15  $\delta_2$  kennzeichnet den Winkel des Kompensationskeils 14 und

$\delta_3$  Winkel des Koppelkeils

Ist die Temperatur des Mediums konstant oder kann die Änderung der Schallgeschwindigkeit im Medium über die Temperatur vernachlässigt  
20 werden, so gilt die nachstehend genannte Formel:

$$\frac{\sin \left( \delta_3 - a \sin \left( \frac{c_{T,2}}{c_{T,1}} \sin \delta_2 \right) \right)}{c_{T,2}} = \text{const.}(T) \quad (4)$$

Hierbei kennzeichnet T die Temperatur;

25  $c(T,1)$  charakterisiert die Schallgeschwindigkeit im Kompensationskeil bzw. im zweiten Teilelement 14;

$c(T,2)$ : charakterisiert die Schallgeschwindigkeit im Koppelkeil bzw. im ersten Teilelement 13;

$\delta_2$  kennzeichnet den Winkel des Kompensationskeils und  
 $\delta_3$  Winkel des Koppelkeils

Fig. 3 zeigt in graphischer und anschaulicher Art und Weise eine Darstellung,  
5 wie mittels der erfindungsgemäßen Lösung der Einfluß der Temperatur auf  
den Einkoppel- bzw. Auskoppelwinkel  $\zeta$  in das bzw. aus dem Medium  
näherungsweise kompensiert wird. Insbesondere charakterisiert die durch-  
gezogene Linie die Temperaturabhängigkeit des Einkoppel- bzw. Auskoppel-  
winkels  $\zeta$  des Ultraschall-Meßsignals in das Medium 2 mit Kompensation; die  
10 gestrichelte Linie zeigt die entsprechende Temperaturabhängigkeit des  
Einkoppel- bzw. Auskoppelwinkels  $\theta$  ohne die erfindungsgemäße Kompen-  
sation.  $\theta(T,3)$  charakterisiert die entsprechende Winkeländerung, die bei  
einem Koppellement 13 ohne zusätzlichen Kompensationskeil 14 auftritt.  $\Delta\zeta$   
(T,4) ist die Abweichung über die Temperatur von  $\zeta(T,4)$  zu einem Einstrahl-  
15 winkel bei 25°C. Das gemessene Medium 2 ist übrigens im dargestellten Fall  
Wasser. Das erste Teilelement 13 besteht aus einem Kunststoff mit der  
Schallgeschwindigkeit  $c(25^\circ\text{C},1)$  von 2668 m/s und  $\Delta c_1 = -4.5 \text{ m/s/K}$ . Bei dem  
Material des zweiten Teilelements 14 handelt es sich um einen Kunst-stoff mit  
der Schallgeschwindigkeit  $c(25^\circ\text{C},2)$  von 2451 m/s und  $\Delta c_2 = -0.73 \text{ m/s/K}$ .  
20 Anhand der Kurven zeigt sich, daß in dem Temperaturbereich von 0° C bis  
100° C durch das erfindungsgemäße Hinzufügen des zweiten Teil-elements  
14 ( $\rightarrow$ Kompensationskeil) die Temperaturabhängigkeit des Einstrahl-  
/Ausfallwinkels  $\zeta$  in das Medium 2 nahezu kompensiert wird. Näherungsweise  
ist der Einstrahl-/Ausfallwinkel  $\zeta$  über den gesamten Temperaturbereich, in  
25 dem das Ultraschall-Durchflußmeßgerät 1 zum Einsatz kommt/kommen kann,  
konstant.

**Bezugszeichenliste**

	1	Clamp-On Ultraschall-Durchflußmeßgerät
	2	Medium
5	3	Ultraschallwandler
	4	Ultraschallwandler
	5	Piezoelektrisches Element
	6	Piezoelektrisches Element
	7	Rohr / Behältnis
10	8	Rohrwand
	9	Regel-/Auswerteeinheit
	10	
	11	Koppelement / Vorlaufkörper
	12	Koppelement / Vorlaufkörper
15	13	Erstes Teilelement
	14	Zweites Teilelement

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumen- und/oder Massenstroms eines Mediums in einem Behältnis, insbesondere in  
5 einem Rohr, mit zumindest einem Ultraschallwandler, der Ultraschall-Meßsignale aussendet und/oder empfängt, mit einem dem Ultraschallwandler zugeordneten Koppelement, über das die Ultraschall-Meßsignale unter einem vorgegebenen Einkoppel- bzw. Auskoppelwinkel in das Behältnis eingekoppelt bzw. aus dem Behältnis ausgekoppelt werden, und mit einer  
10 Regel-/Auswerteeinheit, die anhand der Meßsignale bzw. anhand von Meßdaten, die aus den Meßsignalen abgeleitet sind, den Volumen- und/oder den Massenstrom des in dem Meßrohr strömenden Mediums ermittelt, **dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Koppelement (11, 12) zumindest zwei Teilelemente (13, 14)  
15 aufweist, die derart ausgestaltet und/oder angeordnet sind, daß der Einfluß von Temperaturänderungen auf einen vorgegebenen Einkoppelwinkel ( $\zeta$ ) in das Behältnis (7) bzw. auf einen vorgegebenen Auskoppelwinkel ( $\zeta$ ) aus dem Behältnis (7) in einem vorgegebenen bzw. ausgedehnten Temperaturbereich näherungsweise kompensiert wird.

20

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**  
daß für den Fall, daß der Einkoppel- bzw. der Auskoppelwinkel ( $\zeta$ ) der Ultraschall-Meßsignale von der Temperaturabhängigkeit des Mediums (2)  
25 mitbestimmt ist, die Teilelemente (13, 14) des Koppelements (11, 12) derart ausgestaltet und/oder angeordnet sind, daß der Einkoppel- bzw. der Auskoppelwinkel ( $\zeta$ ) in das Medium (2) bzw. aus dem Medium (2) in einem ausgedehnten Temperaturbereich näherungsweise konstant ist.

30

3. Vorrichtung nach Anspruch 1,



**dadurch gekennzeichnet,**

daß es sich bei den Teilelementen (13, 14) um Koppelkeilen handelt, die sukzessive von den Ultraschall-Meßsignalen durchlaufen werden.

5 4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Teilelemente (13, 14) bzw. die Koppelkeile aus unterschiedlichen Materialien bestehen, wobei die Materialien so gewählt sind, daß durch Temperaturänderungen verursachte Änderungen der Schallgeschwindigkeit

10 (c2) bzw. des Brechungsindex' des Materials von einem ersten Teilelement (13) bzw. von einem ersten Koppelkeil durch Temperaturänderungen verursachte Änderungen der Schallgeschwindigkeit (c1) bzw. des Brechungsindex' von zumindest einem zweiten Teilelement (14) bzw. einem zweiten Koppelkeil näherungsweise kompensiert werden.

15

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Teilelemente (13, 14) bzw. die Koppelkeile aus Kunststoff gefertigt sind.

20

6. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß mehrere Teilelemente (13, 14) bzw. die Koppelkeile aus unterschiedlichen Materialien vorgesehen sind, wobei die Materialien so gewählt sind,

25 daß sich durch Temperaturänderungen verursachte Änderungen der Schallgeschwindigkeit bzw. des Brechungsindex des Mediums (2) und durch Temperaturänderungen verursachte Änderungen der Schallgeschwindigkeiten bzw. der Brechungsindizes in den zumindest zwei Teilelementen (13, 14) bzw. Koppelkeilen näherungsweise gegenseitig kompensieren.

30

7. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

- daß die Dimensionen der Teilelemente (13, 14) bzw. die Weglängen, die die Ultraschall-Meßsignale in den Teilelementen (13, 14) der Koppelkeile (11, 12) bzw. der Vorlaufkörper zurücklegen, so gewählt sind, daß die Summe der entsprechenden Laufzeiten, die die Ultraschall-Meßsignale für das
- 5 Durchlaufen der Teilelemente (13, 14) benötigen, über einen vorgegebenen Temperaturbereich zumindest näherungsweise konstant ist.



